

## 液晶の表面配向におけるメモリー効果に関する研究

著者	宣 麗
号	2202
発行年	1998
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/7475">http://hdl.handle.net/10097/7475</a>

氏 名	せん り 宣 麗		
授 与 学 位	博士 (工学)	学 位 授 与 年 月 日	平成10年9月9日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項		
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電子工学専攻		
学 位 論 文 題 目	液晶の表面配向におけるメモリー効果に関する研究		
指 導 教 官	東北大学教授 内田龍男		
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 内田龍男	東北大学教授 佐藤徳芳	
	東北大学教授 潮田資勝	東北大学教授 沢田康次	
	東北大学助教授 宮下哲哉		

## 論 文 内 容 要 旨

### 第1章 序 論

情報化社会において、多様でかつ大量の情報を収集、処理し、表示を行うことは今後一層重要になると考えられる。その表示過程において、液晶ディスプレイは重要な役割を担っている。

液晶ディスプレイでは、デバイス構成する基板表面に配向処理を施すことにより液晶の配向を実現させ、この配向変化に伴う電気光学特性が利用される。しかしこの配向メカニズムについては、まだ十分明らかにされていないのが現状である。そこで本研究では、液晶の配向メカニズムの問題の中で、これまでほとんど論じられてこなかった配向メモリー現象に着目し、液晶分子と高分子配向膜との間の相互作用を解析することを目的とする。

液晶の配向メモリー現象とは、何らかの外力によって液晶を特定の方向に配向させ、その後その外力を除去しても配向がある程度保持される現象である。配向メモリーの原因としては、外力によって特定の方向に配向した液晶分子が接している固体表面に吸脱着することによると考えられる。したがってこの配向メモリー現象を解析することによって、表面のメモリー効果の強さを表す吸着エネルギーを求めることができる。

この吸着エネルギーについては、これまで大内<sup>1)</sup>や大村ら<sup>2)</sup>によって研究され、その値が約2 eVであることが報告されている。しかし、この値は室温における熱エネルギーより2桁程度大きく、安定な共有結合に匹敵するため、実験結果が示すような吸脱着が起こるとは考えにくい。そこで本研究では、配向メモリー現象の機構の解明と吸着エネルギーの見積もり、及びこの吸着現象に基づく表面配向力について考察を行った。

### 第2章 界面の吸着エネルギー

液晶分子と配向膜分子の間の界面では、界面分子は吸着脱離を繰り返している。そこで、界面の吸着エネルギーを求めるために次のような方法を考案して実験を行った。

Polyvinyl alcohol (PVA) や Polyimide (PI) などの高分子配向膜を塗布し、ラビングなどの配向処理を行わない基板を用いて図1に示すような横方向に電界を印加することができる液晶セルを構成した。これに自発的な捻れを有するコレステリック液晶を導入し、十分な温度まで昇温して、液晶のねじれを解くために十分な大きさの電圧を印加した。次いで電

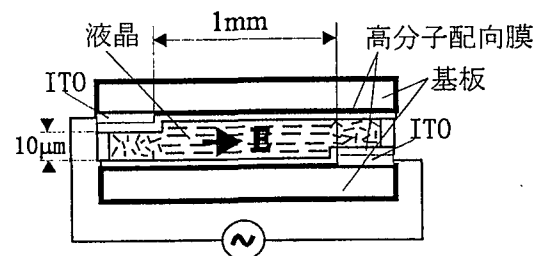


図1 横電場が印加できる液晶セルの構造  
(ラビングなどの配向処理を施していない基板を用いている)

圧を印加したまま特定の温度まで降温させた。この過程で、液晶相に転移ところで液晶分子は電界方向に平行に配向する。その後電界を除去することにより、図2のように液晶の自発的なねじれ角を回復しようとするバルクの弾性力によって液晶分子は回転するが、ある回転角で表面の吸着によって生じたアンカリング力がバルクの弾性力と釣り合い、準安定状態になる。その後は配向膜表面における液晶分子が吸着脱離を繰り返すことによって比較的ゆっくりした配向のねじれ運動が起こる。その回転速度からメモリー配向の緩和現象を測定することができる。従って、この実験結果を説明する配向回転のモデルを考案し、これに基づいて吸着エネルギーの見積もりを試みた。

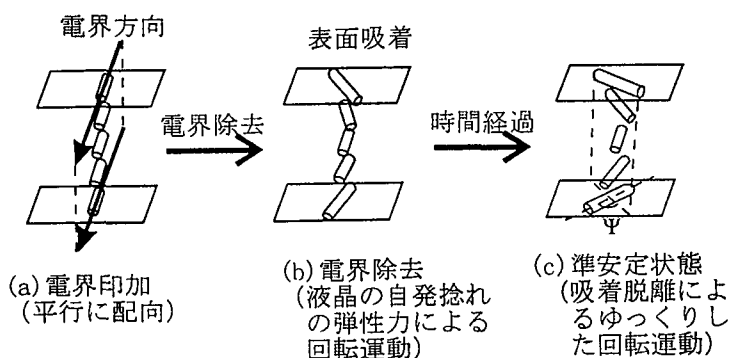


図2 配向ねじれ運動

吸着層におけるダイレクタの方位角を  $\gamma$  とし、最近接層のダイレクタが吸着層のダイレクタとなす角を  $\Delta\phi$  とすると、準平衡状態では吸着層の回転速度  $d\gamma/dt$  は次式で表わされる。

$$\frac{d\gamma}{dt} = C\Delta\phi \exp\left(-\frac{W}{k_B T}\right)$$

ただし、 $C$  は時間及び温度に依存しない定数、 $k_B$  はボルツマン定数、 $T$  は絶対温度、 $W$  は吸着エネルギーである。

まず  $\Delta\phi$  を解析するために、ねじれ配向方位の分布について検討した。粘性トルクが無視できる系では弾性トルクは基板法線方向の位置に依存せず一定となるため、ねじれ角の変化は弾性定数の分布のみに依存する。ここで、もし配向秩序度  $Q$  の分布がわかれば、液晶の弾性定数が  $Q^2$  に比例するとしたChandrasekharの理論を用いることによって弾性定数の分布を決定することができる。そこで配向秩序度の分布を測定する実験を行ったが、その詳細は第3章で述べる。ここではその結果のみを用いて図3(a)に示すような基板法線方向の配向方位分布を導出した。その結果は図のようにS字の形状で現わされることがわかった。次に、配向秩序度の温度依存性及び吸着層の配向回転速度の温度依存性を測定し、その結果から、吸着エネルギーとして約 0.9eV の値を得た。この値は回転速度の実験値と良く対応することから、その妥当性を確認することができた。

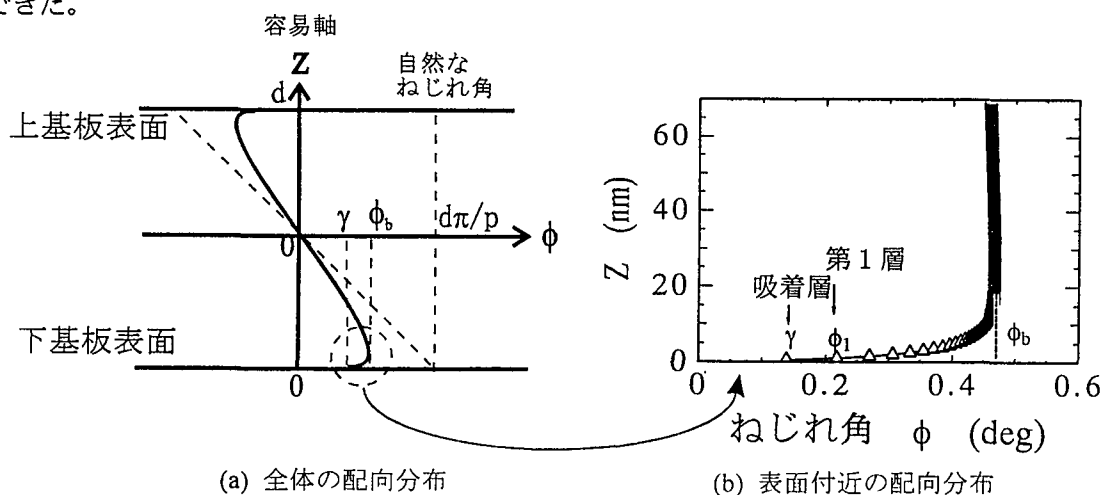


図3 配向秩序度の低い表面層により生じるS字のねじれ配向分布

### 第3章 液晶セルにおける配向秩序度

本章では、配向秩序度の低い表面層が存在するという第2章で用いたモデルの妥当性を確認するために、次のような実験を行った。すなわち、セル厚を連続的に変化させたくさび型セルを用いて偏光赤外吸収 FT-IR 法によって配向秩序度の測定を行った。図4に強いラビングを施したセルの場合の結果を一例として示す。これより、表面層及びその近傍の液晶の配向秩序度はバルク層の配向秩序度よりかなり低いことがわかった。更に、この一連の実験によって、ラビングを弱くするほど表面近傍の配向秩序度が低くなること、温度を上昇させても表面の配向秩序度は相転移温度付近までほとんど変化しないが、バルクのそれは減少していくことなどが明らかになった。

これらの測定データは、第2章のねじれ分布モデルの妥当性を裏付けるものであることを確認した。

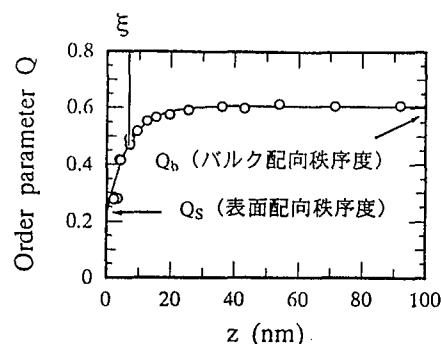


図4 高分子配向膜表面からの距離 $z$ に対する配向秩序度の分布  
(ラビング強度  $L=1000\text{cm}$ )  
実線：計算値

### 第4章 表面配向力と表面配向秩序度の関係

前章で配向秩序度の分布を明らかにすることができたため、本章では平均場理論に基づく配向秩序度の分布とアンカリング強度との関係を定量的に解析すると共に、アンカリング機構の解明を試みた。

その結果、表面のアンカリングは従来考えられていたように表面とそれに隣接する一層目の液晶との相互作用だけではなく、配向秩序度の低い表面層全体が関係することがわかった。そこでこれを実効的な表面配向力（アンカリング強度）と名付けた。更に、従来考えられていたアンカリングの概念に基づいて測定された配向力の値は、この実効的な表面配向力の理論値とよく一致することを確認した。

### 第5章 結 論

本研究で得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 配向膜表面の液晶配向秩序度はバルクのそれよりかなり低い。
- (2) ねじれ配向の液晶セルにおける基板法線方向に対する配向方位の分布はS字の形になる。
- (3) S字のねじれ配向方位の分布を用いてこれをメモリー配向の熱力学モデルに適用し、PVA 及び PI配向膜におけるネマティック液晶の吸着エネルギーが約  $0.9\text{eV}$  となることを明らかにした。
- (4) S字のねじれ配向方位の分布を用い、液晶吸着層の配向秩序度と表面配向力の関係を解析した。その結果、これまで測定されてきた表面配向力は、配向秩序度の低い表面層の影響を受けた実効的な表面配向力であることを明らかにした。

### 参考文献：

- 1) Y.Ouchi, M.B.Feller, T.Moses and Y.R.Shen, Phys.Rev.Lett., **68**, (1992)3040.
- 2) Peter Vetter, Yoshinori Ohmura and Tatsuo Uchida, Jpn.J.Appl.Phys., **32**, (1993)L1239.

## 審査結果の要旨

情報化社会の進展と共に、液晶ディスプレイは情報表示媒体としてその重要性がますます高まっている。この液晶ディスプレイを構成する上で、液晶分子の配向を制御する技術は最も重要な基本技術の一つである。著者は、この配向機構の中でも、これまでほとんど解析されていない配向メモリー現象に着目し、その機構と吸着エネルギーを明らかにすると共に、配向秩序度の低い表面層の存在を解明し、これが見かけの表面配向力に支配的影響を及ぼしていることを明らかにした。本論文はこれらの成果をとりまとめたものであり、全編5章よりなる。

第1章は、序論である。

第2章では、カイラル剤を添加してねじれ力を付与したネマティック液晶に電界を印加してねじれを解き、この平行配向状態を表面にメモリーさせた上で電界を除去してねじれ配向への緩和速度を測定した。一方、表面付近に配向秩序度の低い配向層が存在することを予測して吸着脱着モデルを構築し、これに緩和速度の温度依存性の実験値を適用することによって吸着エネルギーを求めることに成功した。その値 $0.9\text{eV}/\text{分子}$ は緩和速度の実験値とよく対応することから、その妥当性が確認される。これは重要な成果である。

第3章では、配向秩序度の低い表面層が存在するという第2章で用いたモデルの妥当性を検証するために、配向層を連続的に変化させたくさび形液晶セルを用い、エリプソメトリーや偏向赤外吸収によって配向秩序度を連続的に求めることに成功した。これによって強いラビングを施した表面でも表面付近の配向秩序度は $0.2$ 程度とかなり低いこと、表面から離れるに従って秩序度は急激に向上し、 $5\sim 10\text{nm}$ 程度でバルクの値( $0.6$ 程度)まで増加することを世界で初めて実証した。またこの表面層の配向秩序度はラビングを弱くすると単調に減少すること、温度を変化させても相転移温度付近までほとんど変化しないことなどの事実を明らかにした。これらは第2章のモデルの詳細な裏付けを与えると共に、液晶デバイスの基礎物性として極めて重要な知見である。

第4章では、前章で求めた配向秩序度の分布を用いて弾性定数の分布を見積り、これよりねじれ配向分布を解析している。これによって配向秩序度の低い表面層が、見かけの表面配向力を著しく低下させていることを明らかにした。著者はこれを実効的アンカリング強度と定義している。一方、各種のセルで実際にアンカリング強度を測定し、上記の実効的アンカリング強度の値とよく一致することを明らかにした。これによって、表面配向力の実体が初めて明らかにされた。これは高品位液晶ディスプレイを実現する上で極めて重要な成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、液晶の配向メモリー現象について解析し、その機構を明らかにすると共に、これに強く関連する配向秩序度の分布を解析し、これが実効的な表面配向力に支配的な影響を及ぼすことを明らかにしたものであり、液晶物性工学および電子デバイス工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。